

ABSTRACT AND REFERENCES

APPLIED PHYSICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301162
DETERMINING THE EFFECT OF LABORATORY TESTING CONDITIONS ON WORKING PARAMETERS OF THE ST-25 HALL THRUSTER (p. 6–12)

Olexandr Petrenko

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5648-5068>

Viktor Pererva

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8803-5360>

Viktor Maslov

FLIGHT CONTROL LLC, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6281-014X>

The object of this study is the ST-25 Hall thruster with limited discharge power, no more than 200 W, designed by Flight Control LLC (Ukraine). The problem that was solved in the current paper was to determine the effect of residual gas pressure in vacuum chambers on the operating parameters of the Hall thruster. To solve this task, the operating parameters of the ST-25 thruster were determined, which was tested in three vacuum chambers with different sizes of residual pressure. As a result of the laboratory study into the operating parameters of the ST-25 thruster, the volt-ampere characteristics of the engine discharge at fixed values of the working gas (xenon) flow rate were obtained. The dependences of the engine thrust on the mass flow rate of the working gas at fixed values of the discharge voltage were derived. Based on the experimental data, the dependences of the specific impulse of the engine anode unit on the discharge voltage, as well as the dependence of efficiency of the engine anode unit on the discharge voltage were calculated. The studies showed that when the residual pressure in the vacuum chamber is reduced by 2–3 times, the operating parameters of the engine increase by 15–20 %. Such a reduction in residual pressure increases thrust by 25–40 %. Special feature of the results is the determination of threshold values of residual gas pressure in vacuum chambers during experimental studies, in which the operating parameters of the Hall thruster are similar to its operating parameters under space conditions. This work's findings could be used in practice when conducting experimental studies of electric rocket engines, when it is necessary to estimate the operating parameters of Hall thrusters that will be obtained under actual space conditions.

Keywords: Hall thruster, residual pressure, engine thrust, specific impulse, engine efficiency.

References

- Snyder, J. S., Lenguito, G., Frieman, J. D., Haag, T. W., Mackey, J. A. (2020). Effects of Background Pressure on SPT-140 Hall Thruster Performance. *Journal of Propulsion and Power*, 36 (5), 668–676. <https://doi.org/10.2514/1.b37702>
- Piragino, A., Faraji, F., Reza, M., Ferrato, E., Piraino, A., Andreus-si, T. (2021). Background Pressure Effects on the Performance of a 20 kW Magnetically Shielded Hall Thruster Operating in Various Configurations. *Aerospace*, 8 (3), 69. <https://doi.org/10.3390/aero-space8030069>
- Kerber, T. V., Baird, M. J., McGee-Sinclair, R. F., Lemmer, K. M. (2019). Background Pressure Effects on Plume Properties of a Low-Cost Hall Effect Thruster. The 36th International Electric Propulsion Conference. Available at: <https://electricrocket.org/2019/513.pdf>
- Frieman, J. D., Liu, T. M., Walker, M. L. R. (2017). Background Flow Model of Hall Thruster Neutral Ingestion. *Journal of Propulsion and Power*, 33 (5), 1087–1101. <https://doi.org/10.2514/1.b36269>
- Nakles, M. R., Hargus Jr., W. A. (2009). Hall Effect Thruster Ground Testing Challenges. Proceedings of the 25th Aerospace Testing Seminar. Available at: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA506238.pdf>
- Nakles, M., Hargus, W. (2008). Background Pressure Effects on Internal and Near-Field Ion Velocity Distribution of the BHT-600 Hall Thruster. 44th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit. <https://doi.org/10.2514/6.2008-5101>
- Cheng, S. Y. (2007). Modeling of Hall Thruster Lifetime and Erosion Mechanisms. The 30th International Electric Propulsion Conference. Available at: <http://electricrocket.org/IEPC/IEPC-2007-250.pdf>
- Mazouffre, S., Echegut, P., Dudeck, M. (2006). A calibrated infrared imaging study on the steady state thermal behaviour of Hall effect thrusters. *Plasma Sources Science and Technology*, 16 (1), 13–22. <https://doi.org/10.1088/0963-0252/16/1/003>
- Voronovsky, D. K., Kulagin, S. N., Maslov, V. V., Petrenko, O. N., Tolok, S. V. (2021). Hall-effect thruster ST-25 with permanent magnet. *Journal of Rocket-Space Technology*, 28 (4), 37–45. <https://doi.org/10.15421/452005>
- Petrenko, O., Tolok, S., Maslov, V., Kulagin, S., Serbin, V., Shcherbak, D. (2019). Electric propulsion system SPS-25 with Hall Thruster. 70th International Astronautical Congress 2019. Available at: <https://iafastro.directory/iac/paper/id/50659/abstract-pdf/IAC-19,C4,4,4,x50659.brief.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301840
DETERMINING THE EFFECT OF NON-CONDENSABLE GAS ON A TWO-PHASE AMMONIA HEAT TRANSFER LOOP OF THE SATELLITE (p. 13–21)

Oleksii Buchko

Center of Technical Physics LLC, Vyshhorod, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4525-5157>

Gennady Gorbenko

National Aerospace University
 «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7179-1618>

Yevhen Rohovyi

National Aerospace University
 «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5943-0572>

Edem Reshytov

Center of Technical Physics LLC, Vyshhorod, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5772-6302>

Rustem Turna

Center of Technical Physics LLC, Vyshhorod, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5773-1400>

It is advisable to design thermal management systems for high-power stationary satellites and specific ground applications using two-phase mechanically pumped loops with ammonia as the coolant. During prolonged operation in orbit, the accumulation of non-condensable gases can occur due to radiolysis and chemical reactions. The issues related to the effect of non-condensing gas on system parameters and performance have not yet received sufficient attention.

The study of the distribution of non-condensable gas in the loop was performed by calculation-theoretical and experimental methods in a heat transfer loop with a Heat-Controlled Accumulator. Part of the gas accumulates in the steamgas zone of the Heat-Controlled Accumulator and affects the pressure value at a set temperature. The other gas is dissolved in liquid ammonia. This impacts the overheating of the cooled device when the heat load is switched on, the heat transfer intensity during boiling, and the cavitation reserve at the pump inlet. Accumulation of non-condensable gas up to ~ 0.075 mol nitrogen/kg ammonia, concentration of dissolved gas in the liquid up to $\sim 5.3 \cdot 10^{-4}$ mol/mol of the mixture does not significantly impact the parameters and performance of the system. But, if the aim is to precisely ensure the boiling temperature of the coolant or the cavitation reserve, the amount of necessary correction of the control parameters is up to 2.5 K.

The results of the investigation can be used in the design of two-phase heat transfer loops for satellites and other applications, in particular, for the selection of the design and location of gas traps.

Keywords: two-phase heat transfer loop, non-condensable gases, heat-controlled accumulator.

References

- NASA Technology Roadmaps TA 14: Thermal Management Systems (2015). Available at: https://www.lpi.usra.edu/sbag/goals/capability_inputs/2015_Tech_14_thermal_management.pdf
- Nikonov, A. A., Gorbenko, G. A., Blinkov, V. N. (1991). Teploobmennye kontury s dvufaznym teplonositeley dlya sistem termoregulirovaniya kosmicheskikh apparatov. Moscow: Tsentr nauchno-tehnicheskoy informatsii Poisk, 302.
- Gorbenko, G. O., Gakal, P. H., Turna, R. Yu., Hodunov, A. M. (2021). Retrospective Review of a Two-Phase Mechanically Pumped Loop for Spacecraft Thermal Control Systems. *Journal of Mechanical Engineering*, 24 (4), 27–37. <https://doi.org/10.15407/pmach2021.04.027>
- Eutelsat Konnect VHTS Communications Satellite Successfully Launched. Available at: <https://www.thalesaleniaspace.com/en/press-releases/eutelsat-konnect-vhts-communications-satellite-successfully-launched>
- Fully Operational SES-17 Starts Delivering Connectivity Services Across Americas. Available at: <https://www.ses.com/press-release/fully-operational-ses-17-starts-delivering-connectivity-services-across-americas>
- Ruzaikin, V., Lukashov, I., Fedorenko, T. (2023). Ammonia two-phase mechanically pumped loop for geostationary application: Non-condensable gases factor. *Colloid and Interface Science Communications*, 52, 100692. <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2022.100692>
- Prado-Montes, P., Mishkinis, D., Kulakov, A., Torres, A., Pérez-Grande, I. (2014). Effects of non condensable gas in an ammonia loop heat pipe operating up to 125 °C. *Applied Thermal Engineering*, 66 (1-2), 474–484. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.02.017>
- Bue, G. C., Phillion, J. P., Rivas, A. (2022). Gas Trap Plug Design, Function and Performance. 51th International Conference on Environmental Systems, 75. Available at: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20220002612/downloads/ICES_2022_75.pdf
- Müller-steinhausen, H., Epstein, N., Watkinson, A. P. (1988). Effect of dissolved gases on subcooled flow boiling heat transfer. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 23 (2), 115–124. [https://doi.org/10.1016/0255-2701\(88\)80005-9](https://doi.org/10.1016/0255-2701(88)80005-9)
- Wei, J. J., Guo, L. J., Honda, H. (2005). Experimental study of boiling phenomena and heat transfer performances of FC-72 over micro-pin-finned silicon chips. *Heat and Mass Transfer*, 41 (8), 744–755. <https://doi.org/10.1007/s00231-005-0633-x>
- You, S. M., Simon, T. W., Bar-Cohen, A., Hong, Y. S. (1995). Effects of Dissolved Gas Content on Pool Boiling of a Highly Wetting Fluid. *Journal of Heat Transfer*, 117 (3), 687–692. <https://doi.org/10.1115/1.2822631>
- Sawada, K., Kurimoto, T., Okamoto, A., Matsumoto, S., Takaoka, H., Kawasaki, H. et al. (2016). Development of Boiling and Two-phase Flow Experiments on Board ISS (Dissolved Air Effects on Subcooled Flow Boiling Characteristics). *International Journal of Microgravity*, 33 (1), 330106. <https://doi.org/10.15011/ijmsa.33.330106>
- Gorbenko, G., Rohovyi, Y. (2022). Hysteresis phenomenon at heat transfer by boiling in two-phase heat transfer circuits. *Aerospace Technic and Technology*, 5, 4–20. <https://doi.org/10.32620/akt.2022.5.01>
- Cao, L., Mingming, L., Zhengwei, W., Yiyang, Z. (2022). Numerical investigation of the non-condensable gas effect on predicting the cavitation performance of a centrifugal pump. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1037 (1), 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1037/1/012038>
- Kirillin, V. A., Sheyndlin, A. E., Sychev, V. V. (1983). *Termodinamika rastvorov*. Moscow: Energoatomizdat, 416.
- Gorbenko, G., Reshytov, E., Turna, R., Hodunov, A., Rohovyi, Y. (2022). Heat Transfer Coefficient Calculation for Developed Ammonia Boiling in the Evaporator Channel of a Thermal Sink. *NTU «KhPI» Bulletin: Power and Heat Engineering Processes and Equipment*, 3-4, 45–49. <https://doi.org/10.20998/2078-774x.2022.03.08>
- Cho, W.-L. (2018). Pat. No. EP3293469A1. Passive Liquid Collecting Device. Available at: <https://patents.google.com/patent/EP3293469A1>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302008

CONSTRUCTION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF MAGNETIC TRANSMISSION FOR AN AUTONOMOUS WIND POWER PLANT (p. 22–32)

Mykhailo Kovalenko

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5602-2001>

Iryna Kovalenko

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1097-2041>

Ihor Tkachuk

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5717-2458>

Mykola Reutskyi

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1870-2222>

Aaron Harford

Novel Space Concepts LLC, Albuquerque, United States
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9898-6474>

Serhiy Zhuk

NTT Energy, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0409-5580>

The object of research is electromagnetic and mechanical processes in magnetic transmission for an autonomous wind power plant of small power.

The use of magnetic transmission as part of an autonomous wind power plant makes it possible to improve the reliability and efficiency of such a system.

In the current work, a study of magnetic transmission as part of an autonomous wind power plant was carried out to investigate the parameters and characteristics of magnetic transmission.

This paper reports the construction of a numerical simulation mathematical model of a magnetic reducer operating as part of an autonomous wind power plant with a permanent magnet generator. The model takes into account discrete structure of internal and external rotors and modulator; changes in model parameters when input parameters change. It also takes into account losses, change of load angle and electromagnetic moment; the effect of changing the generator load.

The built model of the magnetic reducer system differs in that the change in the generator load leads to a shift of the operating point on the mechanical characteristics of the rotor of the wind power plant (WPP). The model also works in the opposite direction: changes in wind parameters affect power, voltage, current, and electromagnetic moment.

With the help of the model built, the parameters and characteristics of not only the magnetic reducer but also other components of the system were investigated. The efficiency at the output of the electric generator was determined, which is $\approx 75\%$ at a load of 2.0 kW. The magnetic transmission moment at a wind speed of 7.8 m/s for the high-speed rotor is 0.91 N·m, and the low-speed rotor is 7.8 N·m, which corresponds to a transmission ratio of 8.6. This expands opportunities for exploratory research.

Keywords: magnetic transmission, mathematical modeling, simulation modeling, permanent magnets, electromechanical system.

References

- Ruiz-Ponce, G., Arjona, M. A., Hernandez, C., Escarela-Perez, R. (2023). A Review of Magnetic Gear Technologies Used in Mechanical Power Transmission. *Energies*, 16 (4), 1721. <https://doi.org/10.3390/en16041721>
- Golovko, V. M., Ostroverkhov, M. Y., Kovalenko, M. A., Kovalenko, I. Y., Tsyplenkov, D. V. (2022). Mathematical simulation of autonomous wind electric installation with magnetolectric generator. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 5, 74–79. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2022-5/074>
- Han, Q., Wei, J., Han, Q., Zhang, H. (2017). *Dynamics and Vibration Analyses of Gearbox in Wind Turbine*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-2747-5>
- Hailu, H. N., Redda, D. T. (2018). Design and Development of Power Transmission System for Green and Light Weight Vehicles: A Review. *The Open Mechanical Engineering Journal*, 12 (1), 81–94. <https://doi.org/10.2174/1874155x01812010081>
- Hasanpour, S., Johnson, M., Gardner, M. C., Toliyat, H. A. (2022). Cycloidal Reluctance Magnetic Gears for High Gear Ratio Applications. *IEEE Transactions on Magnetics*, 58 (6), 1–10. <https://doi.org/10.1109/tmag.2022.3163419>
- Gardner, M. C., Praslicka, B., Johnson, M., Toliyat, H. A. (2021). Optimization of Coaxial Magnetic Gear Design and Magnet Material Grade at Different Temperatures and Gear Ratios. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 36 (3), 2493–2501. <https://doi.org/10.1109/tec.2021.3054806>
- Dai, B., Nakamura, K., Suzuki, Y., Tachiya, Y., Kuritani, K. (2022). Cogging Torque Reduction of Integer Gear Ratio Axial-Flux Magnetic Gear for Wind-Power Generation Application by Using Two New Types of Pole Pieces. *IEEE Transactions on Magnetics*, 58 (8), 1–5. <https://doi.org/10.1109/tmag.2022.3159002>
- Moghim, A., Hosseini Aliabadi, M., Feshki Farahani, H. (2022). Triple-speed coaxial magnetic gear for wind turbine applications: introduction and comprehensive analysis. *COMPEL - The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, 41 (4), 1223–1244. <https://doi.org/10.1108/compel-01-2022-0001>
- Aiso, K., Akatsu, K., Aoyama, Y. (2021). A Novel Flux-Switching Magnetic Gear for High-Speed Motor Drive System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 68 (6), 4727–4736. <https://doi.org/10.1109/tie.2020.2988230>
- Mateev, V., Todorova, M., Marinova, I. (2023). Design Aspects of Conical Coaxial Magnetic Gears. *Energies*, 16 (10), 4191. <https://doi.org/10.3390/en16104191>
- Macyszyn, L., Jedryczka, C., Mysinski, M. (2023). Analysis of a Two-Stage Magnetic Precession Gear Dynamics. *Energies*, 16 (11), 4484. <https://doi.org/10.3390/en16114484>
- Syam, S., Kurniati, S., Ramang, R. (2022). Design and Characteristics of Axial Magnetic Gear Using Rectangular Magnet. <https://doi.org/10.31219/osf.io/bc5r7>
- Dimauro, L., Bonisoli, E., Velardocchia, M., Repetto, M., Alotto, P., Filippini, M., Torchio, R. (2023). Magnetic gearbox for automotive power transmissions: An innovative industrial technology. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 46, 101497. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2023.101497>
- Tzouganakis, P., Gakos, V., Kalligeros, C., Papalexis, C., Tsolakis, A., Spitas, V. (2022). Torque ripple investigation in coaxial magnetic gears. *MATEC Web of Conferences*, 366, 01004. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202236601004>
- Park, E.-J., Jung, S.-Y., Kim, Y.-J. (2021). Torque and Loss Characteristics of Magnetic Gear by Bonded PM Magnetization Direction. *IEEE Transactions on Magnetics*, 57 (6), 1–4. <https://doi.org/10.1109/tmag.2021.3064705>
- Nielsen, S. S., Wong, H. Y., Baninajar, H., Bird, J. Z., Rasmussen, P. O. (2022). Pole and Segment Combination in Concentric Magnetic Gears: Vibrations and Acoustic Signature. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. <https://doi.org/10.1109/tec.2022.3151654>
- Kovalenko, M., Chumack, V., Kovalenko, I., Tkachuk, I., Harford, A. (2023). Evaluation of magnetic gear parameters for autonomous wind installation with changing wind speed. *Electrical Engineering and Power Engineering*, 2, 32–42. <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2023-2-4>
- Ostroverkhov, M., Chumack, V., Falchenko, M., Kovalenko, M. (2022). Development of control algorithms for magnetolectric generator with axial magnetic flux and double stator based on mathematical modeling. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (120)), 6–17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.267265>
- Chumak, V., Kovalenko, M., Kovalenko, I., Tkachuk, I. (2023). Mathematical modeling of a hybrid magnetic gear for an autonomous low-power wind turbine. *Bulletin of NTU «KhPI». Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection. The Theory and Practice*, 1 (9), 45–51. <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2023.1.07>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301008

FINDING AN ANALYTICAL SOLUTION FOR THE CYLINDER'S FLUXMETRIC DEMAGNETIZING FACTOR USING SPHERICAL HARMONICS (p. 33–41)

Andriy Getman

National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2849-3575>

Oleksandr Konstantinov

National Technical University
«Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2660-4839>

The work examines an analytical solution for calculating the fluxmetric demagnetizing factor of cylindrical magnets at large values of magnetic susceptibility and an arbitrary value of elongation. The application of the analytical solution for calculating the

demagnetizing factor significantly simplifies the modeling and calculation of magnetic characteristics of cylindrical technical objects. A simplified analytical model of the scalar potential of the magnetic field of a cylinder with infinite magnetic favorability, inductively magnetized in a uniform magnetic field, was constructed using an approximate representation of the distribution of fictitious magnetic charges on its surface. The method of spherical harmonic analysis for the magnetic field was used, which made it possible to obtain an analytical representation of the demagnetization field in the central cross section of the cylinder. Limitation of the harmonic series of this representation by seven first harmonics is proposed, and an additional amplitude factor is applied to correct the contribution of the first harmonic to the demagnetization field. This made it possible to compensate for the distortion of the magnetic field near the ends of the cylinder and bring the simplified analytical model closer to the target mathematical model with a uniform demagnetization magnetic field. The reliability of the results of calculating the fluxmetric demagnetizing factor according to the derived formula was evaluated by comparing them with the known results obtained using the numerical method of calculation and according to empirical formulas. It is shown that the proposed approach makes it possible to obtain reliable results of calculating the fluxmetric demagnetizing factor with a deviation of up to 5 % at infinite favorability in the range of cylinder elongation values from 0.01 to 500.

Keywords: cylinder fluxmetric demagnetizing factor, inductive magnetization, spherical harmonics of the magnetic field.

References

1. Rozenblat, M. A. (1954). Koeffitsienty razmagnichivaniya sterzhney vysokoy pronitsaemosti. Zhurnal tehnikeskoy fiziki, 4 (24), 637–661.
2. Okoshi, T. (1965). Demagnetizing Factors of Rods and Tubes Computed from Analog Measurements. Journal of Applied Physics, 36 (8), 2382–2387. <https://doi.org/10.1063/1.1714495>
3. Yamamoto, Y., Yamada, H. (1982). New analytical expressions for flux distribution and demagnetizing factor of cylindrical core. Electrical Engineering in Japan, 102 (3), 1–8. <https://doi.org/10.1002/ecja.4391020302>
4. Getman, A. V., Konstantinov, A. V. (2013). Cylindrical harmonics of magnetic field of linear magnetized cylinder. Technical Electrodynamics, 1, 3–8. Available at: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/62253>
5. Getman, A. V., Konstantinov, A. V. (2013). Method of cylindrical harmonic analysis of magnetic field of objects with inductive magnetization. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (5 (63)), 3–8. Available at: <https://journals.urau.ua/eejet/article/view/14463>
6. Chen, D.-X., Brug, J. A., Goldfarb, R. B. (1991). Demagnetizing factors for cylinders. IEEE Transactions on Magnetics, 27 (4), 3601–3619. <https://doi.org/10.1109/20.102932>
7. Varga, L. K., Kováč, J., Novák, L. (2020). Determination of external and internal demagnetizing factors for strip-like amorphous ribbon samples. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 507, 166845. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166845>
8. Kobayashi, M., Ishikawa, Y. (1992). Surface magnetic charge distributions and demagnetizing factors of circular cylinders. IEEE Transactions on Magnetics, 28 (3), 1810–1814. <https://doi.org/10.1109/20.141290>
9. Etse, K., Mininger, X. (2022). Determination of demagnetizing factors for various geometries using an iterative numerical approach. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 564, 170151. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2022.170151>
10. Chadebec, O., Rouve, L.-L., Coulomb, J.-L. (2002). New methods for a fast and easy computation of stray fields created by wound rods. IEEE Transactions on Magnetics, 38 (2), 517–520. <https://doi.org/10.1109/20.996136>
11. Chen, D.-X., Pardo, E., Sanchez, A. (2006). Fluxmetric and magnetometric demagnetizing factors for cylinders. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 306 (1), 135–146. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2006.02.235>
12. Prozorov, R., Kogan, V. G. (2018). Effective Demagnetizing Factors of Diamagnetic Samples of Various Shapes. Physical Review Applied, 10 (1). <https://doi.org/10.1103/physrevapplied.10.014030>
13. Maxwell, J. C. (1998). A Treatise On Electricity And Magnetism. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198503743.001.0001>
14. Smythe, W. (1989). Static and Dynamic Electricity. Hemisphere Publishing Corporation, 623.
15. Van Bladel, J. G. (2006). Electromagnetic Fields. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/047012458x>
16. Vanderlinde, J. (2005). Classical Electromagnetic Theory. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/1-4020-2700-1>
17. Getman, A. V., Konstantinov, A. V. (2011). Spatial distribution of charged cylindrical surfaces potential. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (5 (50)), 60–62. Available at: <https://journals.urau.ua/eejet/article/view/1794>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302378

DEVISING A TECHNIQUE FOR ASSESSING THE ACCURACY OF MEASURING ELECTRIC MOTOR TORQUE (p. 42–49)

Volodymyr Kvasnikov

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6525-9721>

Dmytro Kvaschuk

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4591-8881>

Mykhailo Prygara

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0954-4480>

Dmytro Siry

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6262-6257>

Oleksii Shelukha

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6088-8262>

The object of this study is a technique for assessing the accuracy of measuring the torques of electric motors. This technique is based on the improvement of dynamic torque measurement processes under transient operating modes. Special attention was paid to devising adaptive methods to normalize the output signal, which take into account vibrations and nonlinearities of the measuring channel.

In order to improve the accuracy of measurements under conditions when the controlled parameter has different deviations from its average value, a technique for integrating time measurement intervals was proposed. That has made it possible to generalize parameter fluctuations, providing more stable measurement results.

This paper reports the simulation of the process of measuring torques of electric motors under transient operating modes and under vibration conditions. That has made it possible to test the proposed technique for estimating the variance of the methodological error, which includes the integration of measurement time intervals and makes it possible to increase the accuracy of the measurement under the conditions of transient modes in electric motor operation.

An algorithm for correcting the error of the dynamic torque of the electric motor has been proposed, which allows it to be corrected. This becomes possible owing to the use of a reference measure and the proposed technique for determining the deviations of the controlled parameter of the measured quantity, as well as the automatic calibration of measuring transducers.

The algorithm allows for flexible settings of the corrective action, expanding the potential of electric motor control systems. It can complement soft measurement methods, as well as adjust the threshold values of deviations under different operating modes of electric motors. This allows the measured systems to better adapt to changes in operating conditions, to adjust the specified measurement accuracy under conditions of uncertainty.

Keywords: torque, measurement accuracy, measurement error, measuring device.

References

1. Kucheruk, V. Yu. (2003). *Elementy teoriiy pobudovy system tekhnichnoho diahnostuvannia elektromotoriv*. Vinnytsia, 195.
2. Martyr, A. J., Plint, M. A. (2012). Dynamometers. *Engine Testing*, 227–258. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-096949-7.00010-8>
3. Aarniovuori, L., Karkkainen, H., Niemela, M., Lindh, P., Pyrhonen, J. (2017). Induction motor torque estimation accuracy using motor terminal variables. 2017 IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC). <https://doi.org/10.1109/iemdc.2017.8002304>
4. Zhang, Y., Wernicke, L., Wulff, W., Bleicher, A., Schauer, T. (2023). Design and validation of a dual-functional damper based on a stepper motor for energy harvesting and vibration control. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 200, 110568. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2023.110568>
5. Beller, S. (2022). Bir Fırçalı Redüktörlü Dc Motorda Yapay Zeka Yöntemleriyle Tork. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37 (4), 885–898. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1230790>
6. Szántó, A., Ádámkó, É., Juhász, G., Sziki, G. Á. (2022). Simultaneous measurement of the moment of inertia and braking torque of electric motors applying additional inertia. *Measurement*, 204, 112135. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112135>
7. Howard, M. (2013). The new generation of inductive sensors. *World Pumps*, 2013 (2), 10–11. [https://doi.org/10.1016/s0262-1762\(13\)70055-5](https://doi.org/10.1016/s0262-1762(13)70055-5)
8. Karthika, M., Nisha, K. C. R. (2023). Arithmetic optimization algorithm based torque ripple minimization technique for solar fed sensorless BLDC drive for domestic applications. *Optik*, 290, 171286. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2023.171286>
9. Kvasnikov, V. P., Bratchenko, H. D., Kvashuk, D. M. (2023). Estimation of measuring uncertainty of electric motors torques using the theory of fuzzy sets. *Collection of Scientific Works of the Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality*, 1 (22), 23–34. <https://doi.org/10.32684/2412-5288-2023-1-22-23-34>
10. Kuhr, M. M. G. (2023). Identification of the dynamic force and moment characteristics of annular gaps using linear independent rotor whirling motions. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 187, 109936. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2022.109936>
11. Wang, S., Wu, Y., Hou, L., Yang, Z. (2023). Predictive modeling for soft measurement of loader driveshaft torque based on large-scale distributed data. *Measurement*, 210, 112566. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112566>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301162

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ УМОВ ЛАБОРАТОРНОГО ТЕСТУВАННЯ НА РОБОЧІ ПАРАМЕТРИ ХОЛЛОВСЬКОГО ДВИГУНА ST-25 (с. 6–12)

О. М. Петренко, В. О. Перерва, В. В. Маслов

Об'єкт дослідження – холловський двигун ST-25 з обмеженою потужністю розряду, не більше 200 Вт, розроблений в компанії Flight Control LLC (Україна). Проблема, яка вирішувалась в даному дослідженні, полягала в визначенні впливу залишкового тиску газу в вакуумних камерах на робочі параметри холловського двигуна. Для вирішення зазначеної проблеми були визначені робочі параметри двигуна ST-25, який тестувався у трьох за розмірами вакуумних камерах з різною величиною залишкового тиску. В результаті проведення лабораторних досліджень робочих параметрів двигуна ST-25 були отримані вольт-амперні характеристики розряду двигуна при фіксованих величинах витрат робочого газу (ксенону). Отримані залежності тяги двигуна від величини масових витрат робочого газу при фіксованих величинах напруги розряду. На основі отриманих експериментальних даних були обчислені залежності величини питомого імпульсу анодного блоку двигуна від напруги розряду, а також залежності ККД анодного блоку двигуна від напруги розряду. Проведені дослідження показали, що при зниженні залишкового тиску в вакуумній камері у 2–3 рази робочі параметри двигуна підвищуються на 15–20 %. Таке зниження залишкового тиску підвищує тягу на 25–40 %. Особливість отриманих результатів полягає у встановленні порогових значень тиску залишкового газу в вакуумних камерах під час проведення експериментальних досліджень, при яких робочі параметри холловського двигуна аналогічні його робочим параметрам в космічних умовах. Результати роботи можуть бути використані на практиці при проведенні експериментальних досліджень електричних ракетних двигунів, коли необхідно оцінити робочі параметри холловських двигунів, які будуть отримані в реальних умовах космічного простору.

Ключові слова: холловський двигун, залишковий тиск, тяга двигуна, питомий імпульс, КПД двигуна.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301840

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ГАЗУ, ЩО НЕ КОНДЕНСУЄТЬСЯ, НА ДВОФАЗНИЙ АМІАЧНИЙ КОНТУР ТЕПЛОПЕРЕНЕСЕННЯ СУПУТНИКА (с. 13–21)

О. В. Бучко, Г. О. Горбенко, Є. Е. Роговий, Е. Р. Решитов, Р. Ю. Турна

Системи забезпечення теплового режиму супутників і деяких наземних застосувань потужністю понад 6 кВт раціонально будувати на базі двофазного контуру теплоперенесення з насосним прокачуванням аміаку в якості теплоносія. У процесі тривалої експлуатації контуру на орбіті можливе накопичення неконденсованого газу внаслідок радіолізу. Проблема впливу неконденсованого газу на параметри і працездатність системи дотепер не приділяла достатньої уваги.

Дослідження розподілу неконденсованого газу в контурі виконано розрахунково-теоретичним та експериментальним методами в контурі теплоперенесення з тепловим гідроакумулятором. Частина газу накопичується в парогазовій зоні гідроакумулятора і впливає на значення тиску за заданою температурою. Інша частина газу розчиняється в рідкому аміаку. При цьому вона впливає на перегрівання охолоджуваного приладу під час увімкнення теплового навантаження, на інтенсивність тепловіддачі під час кипіння і на кавітаційний запас на вході в насос. Накопичення неконденсованого газу до $\sim 0,075$ моль азоту/кг аміаку, концентрації розчиненого газу в рідині до $\sim 5,3 \cdot 10^{-4}$ моль/моль суміші не суттєво впливає на параметри і працездатність системи. Однак, якщо стоїть завдання точного забезпечення температури кипіння теплоносія або кавітаційного запасу, то величина необхідного коригування законів управління цими параметрами становить до 2,5 К.

Результати дослідження можуть бути використані під час проектування двофазних контурів теплоперенесення для супутників та інших застосувань, зокрема для вибору конструкції та місця розміщення газових пасток.

Ключові слова: двофазний контур теплоперенесення, газу що не конденсується, гідроакумулятор із тепловим регулюванням.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302008

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ МАГНІТНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДЛЯ АВТОНОМНОЇ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ (с. 22–32)

М. А. Коваленко, І. Я. Коваленко, І. В. Ткачук, М. О. Реуцький, Aaron Harford, С. О. Жук

Об'єктом дослідження є електромагнітні та механічні процеси в магнітній передачі для автономної вітроелектричної установки малої потужності.

Використання магнітної передачі у складі автономної вітроелектричної установки дозволяє підвищити надійність та ефективність роботи такої системи.

В роботі проведено дослідження магнітопередачі в складі автономної вітроелектричної установки для дослідження параметрів та характеристик магнітної передачі.

У роботі розроблено чисельну імітаційну математичну модель магнітного редуктора, що працює у складі автономної вітроелектростанції з генератором на постійних магнітах. Модель враховує: дискретну структуру внутрішнього, зовнішнього роторів і модулятора; зміни параметрів моделі при зміні входних параметрів. Вона також враховує: втрати, зміну кута навантаження та електромагнітного моменту; вплив зміни навантаження генератора.

Розроблена модель системи магнітного редуктора відрізняється тим, що зміна навантаження електрогенератора призводить до переміщення робочої точки на механічній характеристиці ротора вітроелектричної установки (ВЕУ). Модель працює і в протилежному напрямку: зміни параметрів вітру впливають на потужність, напругу, струм і електромагнітний момент.

За допомогою розробленої моделі досліджуються параметри і характеристики не тільки магнітного редуктора, але й інших компонентів системи. Визначено ККД на виході електрогенератора, яке при навантаженні 2,0 кВт становить $\approx 75\%$. Момент магнітної передачі при швидкості вітру 7,8 м/с для високошвидкісного ротора становить – 0,91 Н·м, а тихохідного – 7,8 Н·м, що відповідає передавальному відношенню 8,6. Це розширює можливості для проведення пошукових досліджень.

Ключові слова: магнітна передача, математичне моделювання, імітаційне моделювання, постійні магніти, електромеханічна система.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.301008

ЗНАХОДЖЕННЯ АНАЛІТИЧНОГО РІШЕННЯ ДЛЯ БАЛІСТИЧНОГО КОЕФІЦІЄНТА РОЗМАГНІЧУВАННЯ ЦИЛІНДРА ЗА ДОПОМОГОЮ СФЕРИЧНИХ ГАРМОНІК (с. 33–41)

А. В. Гетьман, О. В. Константінов

В роботі досліджується аналітичне рішення для розрахунку балістичного коефіцієнта розмагнічування магнетиків циліндричної форми при великих значеннях магнітної сприйнятливості і довільному значенні подовження. Застосування саме аналітичного рішення для розрахунку коефіцієнта розмагнічування суттєво спрощує моделювання та розрахунок магнітних характеристик технічних об'єктів циліндричної форми. Побудовано спрощену аналітичну модель скалярного потенціалу магнітного поля циліндра з нескінченною магнітною сприйтливостю, індуктивно намагніченого в однорідному магнітному полі, застосовуючи наближене уявлення про розподіл фіктивних магнітних зарядів на його поверхні. Використано метод сферичного гармонічного аналізу для магнітного поля, що дозволило отримати аналітичне уявлення поля розмагнічування в центральному поперечному перерізі циліндра. Запропоновано обмеження гармонійного ряду цього представлення сімома першими гармоніками та застосовано додатковий амплітудний коефіцієнт для корекції внеску першої гармоніки в поле розмагнічування. Це дозволило компенсувати викривлення магнітного поля поблизу торців циліндра та наблизити спрощену аналітичну модель до цільової математичної моделі із однорідним магнітним полем розмагнічування. Виконано оцінку достовірності результатів розрахунку балістичного коефіцієнта розмагнічування за отриманою формулою шляхом їх порівняння з відомими результатами, отриманими за допомогою числового методу розрахунку та за емпіричними формулами. Показано, що запропонований підхід дозволяє отримувати достовірні з відхиленням до 5 % результати розрахунку балістичного коефіцієнта розмагнічування при нескінченній сприйтливості в діапазоні значень подовження циліндра від 0.01 до 500.

Ключові слова: балістичний коефіцієнт розмагнічування циліндра, індуктивна намагніченість, сферична гармоніка магнітного поля.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.302378

РОЗРОБКА СПОСОБУ ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ОБЕРТАЛЬНИХ МОМЕНТІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ (с. 42–49)

В. П. Квасніков, Д. М. Квашук, М. П. Пригара, Д. Т. Сірий, О. О. Шелуха

Об'єктом дослідження є спосіб оцінювання точності вимірювання обертальних моментів електродвигунів. Такий спосіб оснований на вдосконаленні процесів вимірювання динамічного моменту у перехідних режимах роботи. Особлива увага приділена розробці адаптивних методів нормування вихідного сигналу, що враховують вібрації та нелінійності вимірювального каналу.

З метою підвищення точності вимірювань в умовах, коли контрольований параметр має різні відхилення від свого середнього значення, було запропоновано спосіб інтегрування часових вимірювальних інтервалів. Це дозволило узагальнити коливання параметру, забезпечивши більш стабільні результати вимірювань.

У статті проведено моделювання процесу вимірювання обертальних моментів електродвигунів у перехідних режимах роботи та в умовах вібрації. Це дозволило провести апробацію запропонованого способу оцінювання дисперсії методичної похибки, що включає себе інтегрування часових інтервалів вимірювання та дозволяє збільшити точність вимірювання в умовах перехідних режимів роботи електродвигуна.

Запропоновано алгоритм корекції похибки динамічного моменту електродвигуна, що дозволяє проводити її корегування. Це стає можливим завдяки використанню еталонної міри та запропонованому способу визначення відхилень контрольованого параметра вимірювальної величини, а також проведення автоматичного калібрування вимірювальних перетворювачів.

Алгоритм забезпечує можливість для гнучких налаштувань корегувальної дії, розширюючи потенціал систем управління електродвигунами. Він може доповнювати м'які методи вимірювання, а також корегувати порогові значення відхилень у різних режимах роботи електродвигунів. Це дозволяє вимірюваним системам краще адаптуватися до змін у робочих умовах, регулювати задану точність вимірювання в умовах невизначеності.

Ключові слова: обертальний момент, точність вимірювання, похибка вимірювання, вимірювальний засіб.